

УДК 691.3

## ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

К. С. Разводов, П. В. Ковтун, П. Ю. Этин

В условиях развития современного общества, повышения скоростей движения транспортных средств большое внимание уделяется повышению безопасности движения на автомобильных дорогах. Постоянно внедряются инновационные проекты, применяются новые материалы, позволяющие заранее информировать водителей об участках дорог, на которых необходимо повышенное внимание и наиболее полно дать представление водителю об опасных факторах, угрожающих жизни водителя и пешехода.

Одним из таких материалов может стать светопроводящий бетон (*литракон*). Разработанный венгерским архитектором Ароном Лосконши как декоративный материал, он имеет прочностные характеристики, позволяющие применять его в конструкциях зданий и сооружений.

Свойство светопроводимости бетон приобретает за счет включения в состав бетонной смеси ориентированно направленных оптических волокон диаметром 0,25 – 1 мм и применением заполнителя размером до 5 мм (крупный песок, отсев дробления). Оптическое волокно пропускает поток света с малыми потерями. Ориентированность оптических волокон в одном направлении и их равномерное распределение в объеме позволяет передать поток рассеянного света через достаточно большой по толщине слой материала. Ограничение максимальной крупности зерен в 5 мм необходимо для непрерывности потока в теле бетона.

Высокая стоимость материала пока не позволяет довольно широко применять его в строительстве зданий в промышленных масштабах, однако с увеличением производства оптического волокна (самого дорогого компонента светопроводящего бетона) и поиском новых технологий, снижающих стоимость его производства, ожидается падение цен на данный вид сырья.

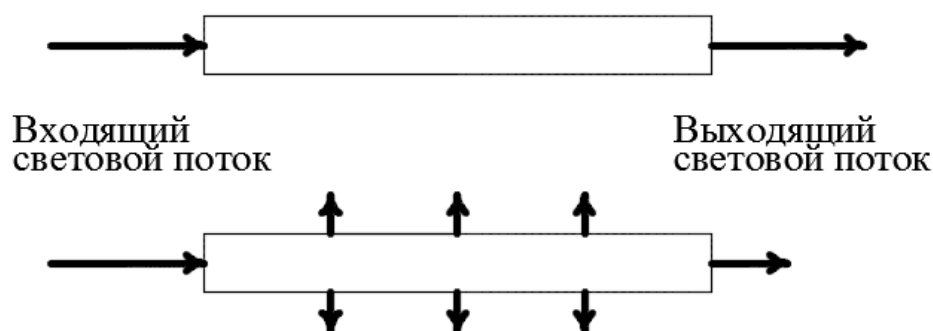
Перспективность светопроводящего бетона в дорожном строительстве связана с повышением в последние годы интереса к устройству цементобетонных покрытий автомобильных дорог. Материал делает возможным дублирование в темное время суток элементов дорожной разметки на опасных участках дорог с жестким покрытием без разрыва среды материала, что облегчит уход за ним в зимнее время.

При создании инновационных пешеходных переходов (оборудованных интерактивными полосами, дублирующими сигнал светофора для пешеходов) применение светопроводящего бетона позволит повысить антивандальность инженерного обустройства. В отличие от полимерных материалов, литракон не изменяет своих свойств под действием высоких температур, не подвержен мгновенному нарушению целостности и потере свойств поверхности при механических воздействиях.

Для повышения архитектурной привлекательности и снижения травматичности светопроводящий бетон можно применять на кромках ступеней лестничных маршей.

На въездах на мосты и путепроводы, а также на нижних уровнях развязок элементы вертикальной разметки из светопроводящего бетона составят конкуренцию элементам вертикальной разметки из металла, которые для предотвращения воздействия агрессивной среды необходимо подвергать горячему цинкованию или окрашиванию эмалями. При нарушении защитного покрытия элементы вертикальной разметки из металла и их крепления корродируют, передавая коррозию вглубь бетонных балок, колонн, на которых они закреплены.

Для определения вида используемого оптического волокна было закуплено оптическое волокно торцевого и бокового свечения. Разность распределения светового потока обусловлена разными химическими составами оптического волокна. Так, оптическое волокно торцевого свечения проводит световой поток без потерь на расстояние до нескольких десятков метров, в то время как оптическое волокно бокового свечения теряет значительную часть светового потока уже на расстоянии в несколько метров от источника света.



*Рисунок 1 – Схема распределения светового потока в оптическом волокне торцевого и бокового свечения*

Однако, в условиях бетонных изделий для дорожного и мостового строительства, где максимальная толщина слоя светопроводящего бетона составит 15 см (для камня бортового БР 100.30.15, выпускаемого по СТБ 1097-2012) и отсутствии потерь светового потока в теле бетона у волокна бокового свечения, для производства допустимо использовать оба вида оптического волокна.

Поскольку химический состав оптического волокна неизвестен – будет проведен анализ химического взаимодействия с химическими компонентами планируемой бетонной смеси: добавкой-пластификатором Хидетал ГП-9а (альфа) на основе поликарбоксилатов и пропиткой для поверхности бетонов Сифтор Б.

При температуре производственной среды 20°C время воздействия химической добавки на оптическое волокно (до завершения процесса схватывания бетонной смеси) не превысит 12 часов. При обработке концентратом пропитки время полного высыхания составляет 4 часа. В связи с этим оптическое волокно каждого вида было помещено в раствор добавки-пластификатора и концентрата пропитки для бетонов на 12 часов и выявлено полное отсутствие химического взаимодействия оптического волокна с данными химическими веществами. На боковой и торцевой поверхности отсутствуют разрушение целостности поверхностного слоя, цвет не изменен.

Таким образом, данные химические вещества можно использовать для производства светопроводящего бетона.

Для производства светопроводящего бетона в соответствии с СТБ 1182-99 подобраны три состава бетонной смеси и на их основе проведены опытные лабораторные замесы для получения наилучших свойств при наименьшей стоимости.

Для бетонной смеси использовались следующие инертные материалы:

- песок крупнозернистый (Карьер Боруны);
- песок мелкозернистый (Карьер УПТК Гомельского горисполкома);
- щебень фракции 5-10 мм (РУПП «Гранит»).

Для получения марок бетона по прочности на сжатие 300-400 наиболее рационально использовать бездобавочный портландцемент марки ПЦ500 Д0.

Таблица 1 – Расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

Материал	Расход материалов по составу, кг		
	1	2	3
Цемент	595	730	405
Песок (Боруны)	1425	-	-
Песок (УПТК)	-	1290	765
Щебень фр. 5-10 мм	-	-	1045
Вода	180	200	150
Химическая добавка	3,85	4,75	2,45
Оптическое волокно	8,6	8,6	8,6

Для изготовления светопроводящего бетона щебень фракции крупнее 10 мм не применяется в связи с небольшой прослойкой бетона между слоями оптического волокна. Оптическое волокно будет располагаться послойно на расстоянии 1,5-2 см. Также неприменимость щебня крупнее 10 мм связана с тем, что при вибрации в процессе изготовления изделий он будет оседать (стремиться к дну формы), попутно продавливая и изменяя положение и рядность оптического волокна, тем самым нарушая его ориентированность, что повлияет на распределение света на рабочей грани изделия и прочностные свойства.

Для исследования прочности на сжатие светопроводящего бетона с послойным расположением оптического волокна в теле бетона используются образцы-кубы размером 100х100х100 мм, изготовленные по каждому из трех составов. В связи с тем, что применение оптического волокна является аналогом армирования, а разрушающая нагрузка ожидаемо должна быть выше, – принимаются схемы армирования образцов.

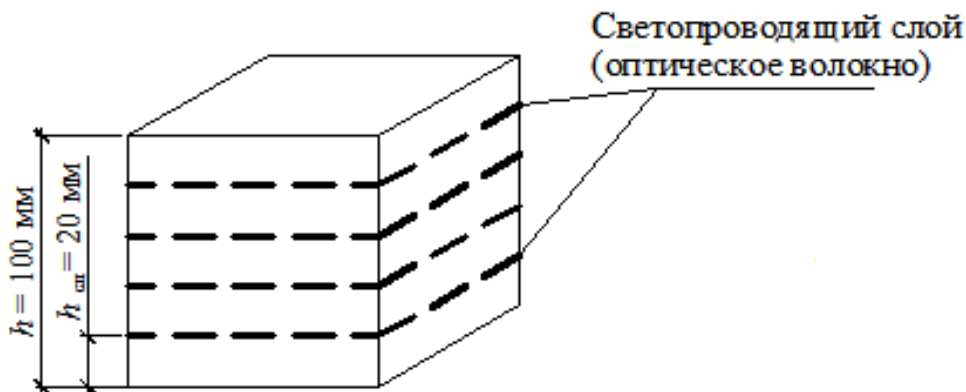


Рисунок 2 – Схема армирования образцов-кубов 100х100х100 мм

Производятся лабораторные замесы по разработанным составам. Объем лабораторного замеса принимается равным объему изготавливаемых образцов с коэффициентом 1,2 в соответствии с ГОСТ 10180-2012. Количество образцов в серии принимается равным 6. По каждому составу изготавливается серия образцов, армированных оптическим волокном, и серия образцов без оптического волокна.

Для исключения налипания бетонной смеси на поверхности формы используется смазка для форм или машинное масло, нанесенное на поверхность тонким слоем. В подготовленную смазанную форму укладывается и распределяется бетонная смесь толщиной 20 мм. Смесь тщательно штыкуется 10 раз, после чего на поверхность уплотненной бетонной смеси раскладывается оптическое волокно с интервалом 4-5 мм. Слегка утапливаются волокна в выступившем цементном молоке во избежание их смещения при укладке следующих 20 мм бетонной смеси. Схема раскладки оптического волокна приведена на рисунке 3.

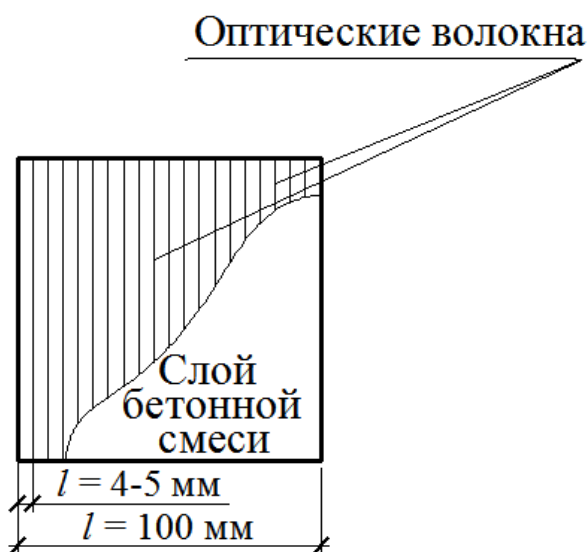


Рисунок 3 – Схема раскладки оптического волокна в светопроводящем слое (вид сверху) образцов-кубов 100x100x100 мм

Далее форма снова заполняется бетонной смесью на толщину 20 мм. Смесь тщательно штыкуется 10 раз, но только на толщину чуть менее толщины слоя уложенной бетонной смеси, поскольку при проникновении штыковки сквозь ряд оптического волокна и в ранее уложенный слой ориентированность волокон может быть нарушена. Далее процесс повторяется. После четвертого светопроводящего слоя форма заполняется полностью, штыкуется на толщину слоя до выступления цементного молока и выравнивания поверхности.

Изготовленные образцы помещаются в нормальные условия: с температурой воздуха в помещении  $t = 20^{\circ}\text{C}$  и относительной влажностью  $W_{\text{отн}} = 95\%$ . Образцы распалубливаются через двое суток. Испытание по показателям прочности на сжатие проводится на 7-е сутки.

В ходе проведения лабораторных замесов была выявлена низкая технологичность состава № 2. В связи с отсутствием зерен крупнее 2,5 мм бетонная смесь практически не уплотняется, оптические волокна не удерживаются на поверхности ранее уложенного и уплотненного слоя бетонной смеси и смещаются при заполнении формы следующим слоем бетонной смеси.

Испытания по прочности бетона проводятся по способу приложения нагрузки в двух направлениях (нормальном уложенным слоям волокон и параллельном уложенным слоям волокон) для оценки влияния направления волокон на прочность.

Результаты испытания бетона по показателям прочности на сжатие и прочности на растяжение при изгибе представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты испытания бетона по показателям прочности на сжатие (В) на 7-е сутки, МПа

Показатель	Номер пробного состава					
	1		2		3	
	С оптическим волоконном	Без оптического волокна	С оптическим волоконном	Без оптического волокна	С оптическим волоконном	Без оптического волокна
<i>В (при приложении нагрузки нормально уложенным слоям)</i>	43,5	40,4	34,8	32,4	31,5	29,6
<i>В (при приложении нагрузки параллельно уложенным слоям)</i>	23,4	37,1	21,4	26,8	20,9	25,1

По результатам испытаний прочности бетона на сжатие, представленным в таблице 2, можно сделать вывод, что расположение волокон параллельно прикладываемой нагрузке недопустимо в связи со снижением прочности на 30-40%. Поэтому для конструкций из светопроводящего бетона необходимо предусматривать направление волокон под углом как можно более близким к 90° по отношению к направлению прикладываемой нагрузки, что повышает прочность на сжатие на 7,1%.

Графики темпа набора прочности бетоном при расположении оптических волокон нормально и параллельно прилагаемой нагрузке представлены на рисунке 4.

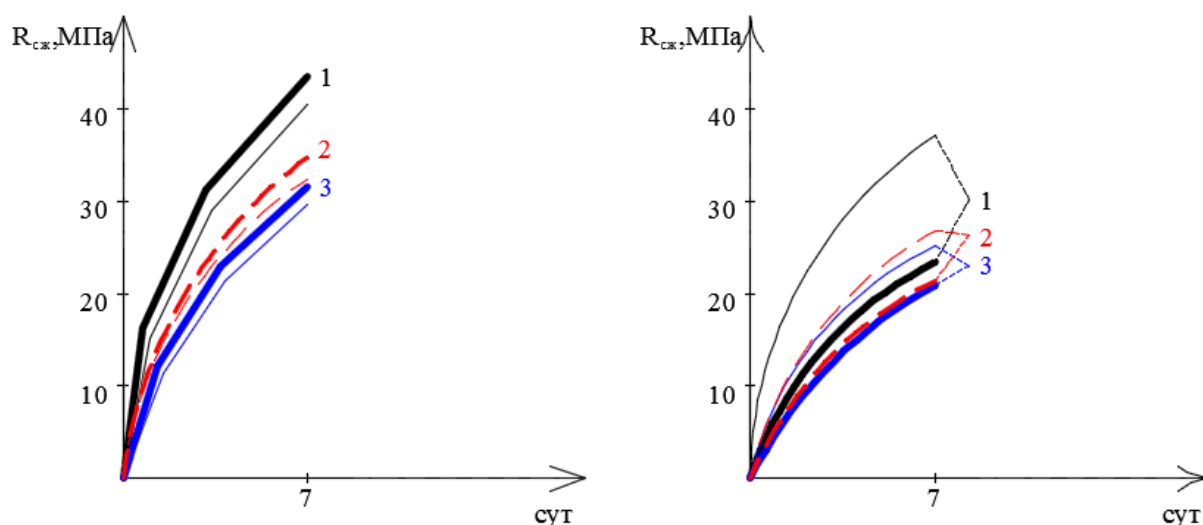


Рисунок 4 – График темпа набора прочности на сжатие бетоном при расположении оптических волокон нормально и параллельно прилагаемой нагрузке: 1,2,3 – номер состава

Для дальнейшей работы проведем анализ стоимости бетона по каждому составу. Стоимость сырья приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Стоимость сырья и расчет стоимости 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

Материал	Цена за 1 т (1 м.п.)	Номер пробного состава					
		1		2		3	
		Кол-во, т (м.п.)	Цена на состав	Кол-во, т (м.п.)	Цена на состав	Кол-во, т (м.п.)	Цена на состав
Цемент	114,7	0,595	68,25	0,73	83,73	0,405	46,1
Песок (Боруны)	9,29	1,425	13,24	-	-	-	-
Песок (УПТК)	4	-	-	1,290	5,16	0,765	3,06
Щебень фр. 5-10 мм	14,93	-	-	-	-	1,045	15,6
Вода	0,8	0,180	0,14	0,2	0,16	0,15	0,12
Химическая добавка	1750	0,00385	6,73	0,00475	8,31	0,00245	4,28
Оптическое волокно	0,43	799,6	343,83	799,6	343,83	799,6	343,83
<b>Итоговая стоимость (за 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси):</b>		<b>432,19</b>		<b>441,19</b>		<b>412,99</b>	

На основании анализа стоимости, технологичности смеси, наибольших значений прочности для дальнейшей работы будет принят состав № 1.

Для работы светопроводящего бетона в условиях воздействия раствора соли в воде и соляного тумана необходимо предусмотреть пропитку для поверхности бетона для предотвращения разрушения поверхности бетона при работе в условиях агрессивной среды (класс XF4), особенно на границе «оптическое волокно-бетон». Сегодня в Беларуси успешно зарекомендовала себя пропитка для бетонов Сифтор Б. Она активно применяется в обработке железобетонных парапетных ограждений на автомобильных дорогах на реконструируемых дорогах республики.

Экономическое обоснование технического решения можно привести на основе одного вида продукции – плитки тротуарной «кирпичик» П20.10.6 М (СТБ 1071-2007).

Анализ рынка строительных материалов показывает, что стоимость светящейся плитки из эпоксидной смолы производителя-конкурента на сегодня равна 126 руб/шт, с годовым объемом реализуемой продукции около 150000 шт. и приростом годового объема около 15000 шт.

Расчет затрат на основные материалы производится в соответствии с составом, представленным в таблице 4

Таблица 4 – Расчет затрат на единицу выпущенной продукции

	Наименование материала	Единица измерения	Норма расхода	Оптовая цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1	Цемент	т	0,00074	114,7	0,0849
2	Песок крупнозернистый	т	0,00177	9,29	0,0164
3	Вода	т	0,00022	0,8	0,0002
4	Химическая добавка	кг	0,00479	1,75	0,0084
5	Оптическое волокно	м.п.	0,995	0,43	0,4106
6	Гидрофобизирующая добавка	кг	0,0234	2,5	0,0585
<b>Итого с учетом транспортно-заготовительных расходов (K<sub>тр</sub> = 1,2)</b>					<b>0,695</b>

На одно изделие применяется два светодиодных модуля оптовой стоимостью 2,175 руб/шт. Таким образом, себестоимость сырья и комплектующих на одно изделие составит 5,05 руб. (годовая – 121200 руб.).

С целью повышения конкурентоспособности и ускорения реализации продукции можно запланировать годовой объем выпуска в размере 24000 шт. по цене на 10% ниже стоимости продукта производителя-конкурента  $126 \cdot (1 - 0,1) = 113,4$  руб/шт (годовой объем производства продукции в денежном выражении – 2721600 руб.) с эффективным фондом рабочего времени 12000 ч/год (8-ми часовая смена) и сезонным технологическим перерывом (декабрь-февраль) для предотвращения возникновения неисправности оборудования при подаче в него бетонной смеси с включением в ее состав мерзлых частиц.

Общая сумма прибыли от реализации продукции  $\Pi_o$  определяется по формуле

$$\Pi_o = P - C_p, \quad (1)$$

где  $P$  – объем реализации продукции за год (за вычетом налогов НДС);  
 $C_p$  – себестоимость годового объема реализации продукции, руб.

Таблица 5 – Калькуляция себестоимости единицы продукции

	Статья расходов	Затраты на годовой выпуск, руб.	Себестоимость единицы продукции, руб.
1	Сырье и материалы	16680	
2	Покупные полуфабрикаты и комплектующие	104520	
3	Топливо и энергия на технологические нужды	10929,6	
4	Заработная плата основных производственных рабочих	75947,81	
5	Отчисления в ФСЗН (34% от годового фонда оплаты труда всех работников)	52006,09	
6	Амортизация	85650,35	
7	Расходы на подготовку и освоение производства	77614	
8	Общепроизводственные расходы	242517,46	
9	Прочие расходы (5% от заработной платы основных рабочих)	3797,39	
10	Земельный участок	20000	
11	Налог на недвижимость (1% от ее стоимости)	3745,2	
12	Налог на землю	1864,68	
13	Экологический налог	1517,76	
14	Производственная себестоимость	<b>696790,34</b>	
15	Коммерческие расходы (2% от производственной себестоимости)	17105,66	
16	Выплата процентной ставки инвестиций (25% годовых от суммы капитальных вложений)	288140,5	
17	Полная себестоимость продукции	<b>1002036,5</b>	<b>41,75</b>

Выручка от продажи продукции (по формуле 1) составит:

$$П_0 = (2721600 \cdot \frac{100}{120}) - 1002036,5 = 1265963,5 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль  $П_ч$  определяется по формуле

$$П_ч = П_0 \cdot (1 - \frac{Н_п}{100}), \quad (2)$$

где  $Н_п$  – ставка налога на прибыль, % ( $Н_п = 18\%$ ).

$$П_ч = 1265963,5 \cdot (1 - \frac{18}{100}) = 1072850,42 \text{ руб.}$$

Чистый дисконтированный доход ЧДД рассчитывается по формуле

$$ЧДД = \sum_{t=1}^n (P_t \alpha_t - Z_t \alpha_t), \quad (3)$$

где  $P_t$  – чистый доход, полученный в году  $t$ , руб.;

$Z_t$  – инвестиции в году  $t$ , руб.;

$\alpha_t$  – коэффициент дисконтирования,  $\alpha_t = \frac{1}{(1+D)^t}$ ;

$D$  – норма дисконта,  $D = 0,1$ .

$$ЧДД_1 = 1072850,42 \cdot \frac{1}{(1+0,1)^1} - 1440702,5 = -465383,94 \text{ руб.};$$

$$ЧДД_2 = 1072850,42 \cdot \frac{1}{(1+0,1)^2} - 581729,93 = 284923,31 \text{ руб.};$$

$$ЧДД_3 = 1072850,42 \cdot \frac{1}{(1+0,1)^3} - 0 = 806048,4 \text{ руб.}$$

Таблица 6 – Расчет экономического эффекта инвестиционного проекта

Показатель	1	2	3
Выпуск продукции, шт.	24000	24000	24000
Прирост чистой прибыли от реализации продукции	1072850,42	1072850,42	1072850,42
Прирост чистой прибыли от реализации продукции, с учетом фактора времени	975318,56	869009,48	806048,4
Амортизация	85650,35	85650,35	85650,35
Долг перед инвестором на начало года	1152562	465383,94	-
Процент обслуживания инвестиций (25% годовых)	288140,5	116345,99	-
Чистый дисконтированный доход с учетом фактора времени	-465383,94	284923,31	806048,4
Рентабельность			171,43%

Срок окупаемости инвестиций составит 1 год 7 месяцев.



Рентабельность инвестиций составит

$$P_{\text{и}} = \frac{\sum_{t=1}^n P_t \alpha_t}{\sum_{t=1}^n Z_t \alpha_t} ; \quad (4)$$

$$P_{\text{и}} = \frac{2650376,44}{1546019,83} = 171,43 \text{ \%}.$$

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что проект внедрения светопроводящего бетона в транспортное строительство будет эффективен.

#### **Список использованных источников**

1. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. – Минск: Госстандарт, 2015. – 36 с.
2. Правила подбора состава: СТБ 1182-99. Бетоны. – Минск: Госстандарт, 2000. – 16 с.
3. Бетоны конструкционные тяжелые для транспортного и гидротехнического строительства. Технические условия: СТБ 2221-2011. – Минск: Госстандарт, 2012. – 30 с.
4. Камни бетонные и железобетонные. Технические условия: СТБ 1097-2012. – Минск: Госстандарт, 2008. – 18 с.
5. Смеси бетонные. Методы испытаний: СТБ 1545-2005. - Минск: Минстройархитектуры, 2005. – 24 с.